Lane Medical Library

Aus der Medizinischen Universitäts-Poliklinik
zu Königsberg Pr.
(Direktor: Prof. Dr. Bruns)

Der Einfluß von Kohlenoxydschutzgeräten auf den Gasstoffwechsel des Trägers während der Arbeit.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Albertus-Universität zu Königsberg Pr.

vorgelegt von

Fritz Bordasch

Königsberg Pr.
1935.

Joh. Raabe, Königsberg Pr.

Referent: Professor Dr. Bruns.

Mit dem ungeheuren Aufschwung der Technik und der fortschreitenden Industrialisierung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts erhob sich mehr und mehr die Notwendigkeit, Menschen gegen die Einwirkung von schädlichen Gasen zu schützen. Und heute steht dieses Problem mehr denn je im Mittelpunkt des allgemeinen Interesses. Denn neben die Belange der Industrie tritt heute das Erfordernis, im Falle eines Krieges der ganzen Bevölkerung im „passiven Luftschutz" einen ausreichenden Schutz gegen giftige Kampfgase zu sichern. Dieses Ziel ist erst dann erreicht, wenn es gelingt, ein Gerät zu konstruieren, das bei einfacher Handhabung einen sicheren Schutz gewährt und zugleich den Träger bei der Ausübung seiner gewohnten Tätigkeit nicht wesentlich behindert, ja ihm auch über längere Zeit schwere körperliche Arbeit gestattet. Sehen wir uns einmal an, was wir auf diesem Gebiet bis jetzt geleistet haben, so erkennen wir, daß von den ersten primitiven Versuchen ein erheblicher Weg ständiger Entwicklung bis zu den heutigen modernen Gasschutzgeräten führt. Während anfangs Schwämme mit besonderer Flüssigkeit getränkt vor Mund und Nase befestigt wurden, führte man später einer Kopfschutzkappe von außen durch eine Schlauchleitung Sauerstoff zu. Diese Sauerstoffgeräte haben sich weiter entwickelt zu den geschlossenen, tragbaren Kreislaufgeräten des Grubenrettungswesens. Sie kommen überall da in Frage, wenn neben schädlichen Gasen Sauerstoffmangel der Atemluft besteht. Aber auch bei hoher Kohlenoxydkonzentration, wo die Filtergeräte, wie wir später noch sehen werden, nicht ausreichen, werden sie heute noch benutzt. Die filtrierbaren Schwämme dagegen fanden ihre Vervollkommnung in den Gasmasken, die angewandt werden, wenn neben schädlichen Gasen hinreichend Sauerstoff vorhanden ist. Beiden Geräten gemeinsam ist die Maske als Anschluß an die Atemwege. Der Unterschied liegt in der Atem-

führung und im Zusatzapparat. Beim Kreislaufgerät ist der Träger völlig von der Außenluft getrennt und von ihr unabhängig, während er bei der Gasmaske durch das Filter mit ihr in Verbindung steht. Bei der Gasmaske besteht der Zusatzapparat aus einer leichten handlichen Filterbüchse, die der Maske angefügt wird. Im anderen Falle dagegen aus einem komplizierten System von Sauerstoffvorrat, Sauerstoffzufuhrapparat und Kohlensäureabsorptionsapparat. Aus rein äußeren Gründen der einfacheren Bedienung und der geringeren Belastung des Trägers ist daher das Filtergerät dem Kreislaufgerät, wo es angängig ist, vorzuziehen. Gerade den Filtergeräten hafteten aber anfangs Fehler an, die ihren längeren Gebrauch während der Arbeit unmöglich machten. Der Hauptübelstand der alten Maskenmodelle war ihr unverhältnismäßig großer Totraum. Hierunter versteht man den Raum, der zwischen Gesicht und Filter gelegen ist. Bei den alten Modellen trat noch als erschwerender Umstand hinzu, daß die flottierenden Maskenwände sich bei jeder Exspiration aufblähten, bei der Inspiration aber zusammenfielen und in das Gesicht hineingesogen wurden. Das für die Atmung bezw. für den Gasaustausch ungünstige Moment dieses Totraumes oder schädlichen Raumes liegt darin, daß der frischen Einatmungsluft bei jedem Atemzug kohlensäurehaltige Mischluft vorgelagert ist. Dieses war der Hauptgrund dafür, daß die alten Masken bei körperlicher Arbeit sehr rasch zum Versagen des Trägers führten. Die Kardinalforderung im Gasschutzproblem erschien demnach vom arbeitsphysiologischen Standpunkt aus die möglichst weitgehende Ausschaltung des Maskentotraumes. Und hier setzen dann auch vor allem die Verbesserungen ein. Noch bis 1923 betrug der Totraum der Heeresgasmaske etwa 900 ccm. Später gelang es, ihn auf 550 ccm und weiterhin durch Abtrennung eines besonderen Augenraumes auf 250 ccm herabzudrücken. Mit der alten Heeresgasmaske mit einem Totraum von 800 ccm hat Bruns im Jahre 1927 umfangreiche atemphysiologische Beobachtungen angestellt und besonders die Wirkung des Totraumes auf Atmung und Kreislauf untersucht. Die Versuche erstreckten sich auf Prüfung der Aenderungen von Atemfrequenz und Atemvolumen in der Ruhe, während einer bestimmten Arbeit und in einer anschließenden Erholungszeit. Die Arbeit bestand im Treten eines stark gebremsten Tretrades nach konstantem Metronomtakt und dauerte 2 Minuten lang an.

Bei Untersuchung der Totraumwirkung fand sich bei allen Versuchspersonen beim ruhigen Sitzen eine merkliche Verlangsamung der Atemfrequenz unter gleichzeitiger Vergrößerung des Minutenvolumens. Der Einzelatemzug wurde also beträchtlich vertieft. Durch ein derartiges Einstellen der Atemtiefe und der Frequenz wird ein optimales Verhältnis angestrebt. Bei körperlicher Arbeit stieg die Atemfrequenz und ebenso das Minutenvolumen schnell an und kehrte in einer Erholungszeit von 7 Minuten relativ schnell wieder zur Norm zurück ohne daß die Maske entfernt wurde. Wurde nun bei der Arbeit in die Maske noch das Filter eingefügt, so blieb das Minutenvolumen mehr oder weniger hinter dem mit der Maske allein erreichten Wert zurück. D. h. die Versuchspersonen bekamen während der Anstrengung durch das Filter nicht genug Luft. Denn wäre die bessere Sauerstoffausnutzung infolge der Atemvertiefung der Grund für die Abnahme des Minutenvolumens, so müßte auch die Erholungszeit nach der Arbeit entsprechend kurz sein. Statt dessen war sie außerordentlich verlängert. In allen Fällen dauerte die Erholungszeit länger, als bei Arbeiten in der Maske ohne Filter, so daß das Gesamtvolumen während Arbeit und Erholung, welches erst die tatsächliche Größe der Anstrengung charakterisiert, mit Maske und Filter doch größer war als mit der Maske allein. Auf Grund dieser Untersuchungen kommt Bruns zu dem Schluß, daß der überwiegende Anteil an der Atemerschwerung nicht mehr dem Totraum, sondern dem Filter zukommt. Dieselbe Frage wurde dann 1929 von Thiel und Quednau noch einmal einer Untersuchung unterzogen und zwar mit der Degea-Maske Nr. 760 der Auerwerke, die einen Totraum von nur 120 bis 200 ccm aufweist. Mit 10 Versuchspersonen wurden folgende Versuchsreihen durchgeführt:

1. Bestimmung der natürlichen Atmung,
2. Atmung durch die Degea-Maske Nr. 760 allein,
3. Atmung durch den Universalfiltereinsatz F allein,
4. Atmung durch die Degea-Maske mit dem Universalfilter F.

Die Arbeit bestand wieder im Treten eines stark gebremsten Tretrades. Die Dauer der Arbeit betrug 2 Min., 40 Sekunden. Was den Totraum anbetrifft, so kamen die Untersucher zu folgendem Ergebnis: Der Totraum der Degea-Maske zeigt wohl noch einige Wirkung, indem im all-

gemeinen eine Vertiefung der Atmung eintritt. Ganz besonders spricht sich das im Verhalten während der Arbeit aus. Doch ist die Vergrößerung der Totraumwirkung so geringfügig, daß sie praktisch kaum noch ins Gewicht fällt. Eine Verkleinerung des Totraums aus arbeitsphysiologischen Gründen erscheint demnach nicht mehr notwendig. Das Problem ist daher als technisch gelöst anzusehen.

Es blieb jetzt noch als Hauptfaktor für die atemerschwerende Wirkung der Gasmaske die durch das Filter bedingte Stenose. Die Verbesserung der Filtereinsätze betrifft in erster Linie eine Vervollkommnung in chemisch-physikalischer Hinsicht. Hiermit ist aber zwangsläufig eine Verkleinerung der Porengröße und somit eine Erhöhung des Widerstandes verbunden. Diese an sich atemtechnisch ungünstigeren Bedingungen führten mit Notwendigkeit zu einer Aenderung der Atemsteuerung im Gerät. So entwickelten sich zwei verschiedene Gerätetypen. Auf der einen Seite die Pendelmaske, bei der die Atemluft bei In- und Exspiration das Filter passieren muß. Ihnen gegenüber stehen die ventilgesteuerten Masken, bei denen die Einatmungsluft durch das Filter streicht, die Ausatmungsluft aber durch ein Ventil aus der Maske direkt ins Freie tritt. Bei diesen macht sich nur eine gewisse, durch das Schutzfilter gegebene inspiratorische, und eine geringe, durch das Ausatmungsventil bedingte exspiratorische Atmungsbehinderung bemerkbar.

Es erhob sich nun die Frage, ob diese Masken bereits das Optimum dessen darstellen, was der Mediziner vom Standpunkt der Arbeitsphysiologie von ihnen verlangen muß. Denn waren die bisherigen Erörterungen vorwiegend technischer Natur, so ist das Problem der Beeinflussung der Arbeitsfähigkeit des Menschen durch das Tragen von Gasschutzgeräten ein rein medizinisches. Der Mediziner mußte also nach einer Möglichkeit suchen, die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen im Laboratoriumsversuch exakt zu messen und die einzelnen Faktoren zu bestimmen, die zu einer Herabsetzung bezw. zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit führen. Diese Möglichkeit bestand, denn unabhängig vom Gasmaskenproblem hatte H e r b s t im physiologischen Laboratorium der deutschen Hochschule für Leibesübungen in Berlin Untersuchungen über die körperliche Leistungsfähigkeit angestellt. Er war zu dem Ergebnis gekommen, daß der Gasstoffwechsel hier-

für ein exaktes Maß darstellt. Diese Versuche wurden später in der Medizinischen Poliklinik in Königsberg fortgesetzt und haben sich für das ganze Problem als außerordentlich fruchtbar erwiesen, denn alle weiteren Untersuchungen in dieser Frage basieren im Prinzip auf den gleichen Gedankengängen. Es empfiehlt sich also, zunächst einmal diese Gedankengänge zu analysieren und die Begriffe klarzustellen, die bei Behandlung dieses ganzen Fragenkomplexes immer wieder benutzt werden und deren genaue Kenntnis zum Verständnis der weiteren Abhandlungen unbedingt erforderlich ist. Den Ausgangspunkt bildete die Beobachtung, daß die körperliche Leistungsfähigkeit eines Menschen abhängig ist von der maximalen Sauerstoffmenge, die in der Zeiteinheit vom Blut aufgenommen und vom Organismus verbrannt werden kann. Diese Menge, die auch durch reichliche Sauerstoffzufuhr nicht mehr gesteigert werden kann, bezeichnet man als das Sauerstoffaufnahmevermögen. Es lag nun nahe, diese Sauerstoffmenge, die man auch als absolute Sauerstoffaufnahme bezeichnet, in ein Abhängigkeitsverhältnis zu bringen zu der Sauerstoffmenge, die in der gleichen Zeit dem Organismus angeboten wird. Auf diese Weise gelangt man zu einem außerordentlich wichtigen Faktor, nämlich dem Sauerstoffausnutzungsvermögen. Die Zahl, die in Prozenten den Sauerstoff angibt, der aus dem angebotenen Sauerstoff aufgenommen wird, nennt man den Ausnutzungskoeffizienten.

Bevor wir uns jetzt die Ergebnisse ansehen, die Herbst bei seinen Sportstudenten gefunden hat, müssen wir noch kurz die Versuchsanordnung besprechen, die im Prinzip bei allen diesen Versuchen die gleiche ist und nur je nach der Fragestellung und der gewünschten Genauigkeit der Ergebnisse etwas modifiziert wird. Immer handelt es sich darum, einen Menschen in der Ruhe, während der Arbeit und in einer anschließenden Erholungsphase zu untersuchen. Die Untersuchung erstreckt sich auf die Bestimmung von Minutenvolumen der Atmung, absoluter und relativer Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe. Als Arbeit benutzte Herbst das Laufen am Ort mit einer bestimmten Schrittzahl in der Minute. Spätere Untersucher legten Wert darauf, eine meßbare Leistung vollbringen zu lassen. Die erwähnten Untersuchungen der Atemluft vollzogen sich im allgemeinen durch Auffangen der Ausatmungsluft in einer größeren Anzahl von Douglassäcken,

wodurch der ganze Versuch in einzelne Phasen zerlegt wird. Der Inhalt der Säcke wird in einem Haldaneapparat analysiert und an einer Gasuhr gemessen.

Fassen wir jetzt die Ergebnisse zusammen, die Herbst bei seinen Versuchen gefunden hat, so interessiert uns zunächst die Frage, wie sich das Sauerstoffaufnahmevermögen während der Arbeit verhält. Es zeigt sich, daß eine gewisse Arbeitsleistung nötig ist, um die Sauerstoffaufnahme zu ihrer maximalen Höhe zu steigern. Es wurde also vor die eigentliche Arbeitsperiode ein Vorversuch gelegt, der solange ausgedehnt wurde, bis auch bei fortgesetzter Arbeit keine weitere Steigerung der Sauerstoffaufnahme erzielt werden konnte. Der Sauerstoffverbrauch, der während der Hauptperiode des Arbeitsversuches festzustellen ist, entspricht dann dem Sauerstoffaufnahmevermögen der Versuchsperson.

Aehnlich wie die Sauerstoffaufnahme wächst auch das Atemvolumen mit steigender Arbeitsleisutng fortlaufend an. Es unterscheidet sich aber in seinem Verhalten von der Sauerstoffaufnahme darin, daß es nicht wie diese bei einer bestimmten Arbeitsleistung seinen Höchstwert erreicht, sondern mit wachsender Arbeitsleistung immer größer wird. Die Fähigkeit, Sauerstoff aus der Einatmungsluft in das Blut aufzunehmen, hat also früher ihren Grenzwert erreicht als die Atmung. Es ist daher nicht die Ventilationsmöglichkeit der Lunge, die den maximalen Wert der Sauerstoffaufnahme, das Sauerstoffaufnahmevermögen bestimmt.

Dieses sind die arbeitsphysiologisch wichtigsten Stoffwechselvorgänge bei körperlicher Arbeit und unbehinderter Atmung und hiermit waren auch die Grundlagen geschaffen, um die Wirkung von Gasschutzgeräten auf die körperliche Leistungsfähigkeit des Trägers exakt zu untersuchen. Umfangreiche Untersuchungen dieser Art hat letzthin Thiel mit modernen ventilgesteuerten Filterapparaten angestellt. Er konnte zeigen, daß durch die modernen Gasmasken die Arbeitsfähigkeit nicht herabgesetzt wird, ja daß diese sogar für kürzere Zeit ein leistungsbesserndes Moment darstellen. Dieses bezog sich aber nur auf die gebräuchlichsten Filtermasken. Nicht bewiesen war es dagegen für die äußerst wichtige Kohlenoxydmaske. Diese nimmt deswegen eine Sonderstellung ein, weil es nicht möglich ist, durch eines der üblichen Filter Kohlenoxyd aus der Einatmungsluft zu entfernen. Es ist vielmehr notwendig, die Luft durch eine

mehr oder weniger große Filterbüchse streichen zu lassen. Hieraus ergeben sich zwangsläufig einige wichtige Richtlinien für den Bau der ganzen Maske. Die verhältnismäßig schwere Filterbüchse kann praktisch nur auf dem Rücken getragen werden. Die Einatmungsluft muß demnach, wenn sie die Filterbüchse passiert hat, durch ein Schlauchstück in die Maske geleitet werden. Hieraus würde eine außerordentliche Vergrößerung des Totraumes resultieren. Bei unseren Versuchen fügten wir daher am Uebergang des Schlauchstückes in die Maske ein Rückschlagventil ein, da vorangegangene Versuche gezeigt hatten, daß bei einem seitlichen Ausatmungsventil große Teile der Exspirationsluft durch das Filter zurückstreichen.

Es soll nun in dieser Arbeit der Einfluß von Kohlenoxydschutzgeräten auf den Gasstoffwechsel des Trägers bei körperlicher Arbeit untersucht werden. Für unsere Versuche standen uns zwei verschiedene Maskenmodelle zur Verfügung.

1. Das CO-Filter 101 der Drägerwerke und
2. das CO-Filter der Auergesellschaft

Beide mit dazu passender Maske. Als Versuchspersonen hatten sich Assistenten und Medizinalpraktikanten der Poliklinik zur Verfügung gestellt.

Versuchsanordnung.

Mit jeder Versuchsperson wurden 3 Versuchsreihen durchgeführt und jeder Versuch bestand wieder aus vier Abteilungen. In der ersten Abteilung wurde der Gasstoffwechsel im Liegen, in der zweiten der Gasstoffwechsel im Sitzen festgestellt. Die dritte Abteilung bestand in einer konstanten Arbeitsleistung von 5 Minuten, die vierte in einer Erholungszeit von 18 Minuten. Die Versuche fanden am frühen Morgen statt. Eine Stunde vor Beginn des Versuches lag die nüchterne Versuchsperson ganz ruhig auf einem Liegesofa, um eine Beeinflussung durch ein Training zu vermeiden, machten die einzelnen Versuchspersonen ihre Versuche in Abständen von etwa 10 Tagen. Die Arbeit bestand im Treten eines Kroghschen Ergometers nach konstantem Metronomtakt. Bei einer Bremslast von 3375 g und 50 maligem Treten in der Minute ergibt sich dabei eine Leistung von 0,225 PS. Diese Leistung mußte fünf Min.

durchgehalten werden, was einer Gesamtarbeit von 6072 mkg entspricht. Das Auffangen der Ausatmungsluft erfolgte in mehreren Douglassäcken und zwar je 1 Sack für die beiden ersten Abschnitte, je 1 Sack für jede der 5 Arbeitsminuten, 4 Säcke für die Erholungszeit. Diese war dabei so aufgeteilt, daß der erste Sack 3 Minuten, der zweite 4, der dritte 5 und der vierte während 6 Minuten die Atemluft auffangen mußte.

Die erste Versuchsreihe.

Nachdem die Versuchsperson eine Stunde gelegen hatte, erhielt sie ein Gummimundstück, das mit den Zähnen festgehalten werden mußte. Die Nase wurde mit einer Nasenklemme verschlossen. Hinter dem Mundstück befand sich ein praktisch widerstandsloses Schlagventil, das die Ausatmungsluft durch ein kurzes Schlauchstück in einen Douglassack leitete. Dieser Abschnitt dauerte 10 Min. Dann setzte sich die Versuchsperson auf das Tretrad. Die Nase blieb abgeklemmt, ebenso blieb das Mundstück mit dem Schlagventil dasselbe. Die Ausatmungsluft wurde wieder in einen Douglassack geleitet. Auch dieser Abschnitt dauerte 10 Minuten und ging direkt in die Arbeitsperiode über. Bei der schon erwähnten Bremslast von 3375 g wurde 5 Minuten lang je 50 mal in der Minute getreten. Die Ausatmungsluft wurde durch ein starres Röhrensystem für jede Minute gesondert in 5 verschiedene Säcke geleitet. Unmittelbar an diese Arbeitsperiode schloß sich als 4. Abschnitt die Erholungsphase an. Die Versuchsperson blieb ruhig auf dem Tretrad sitzen, an der Atemführung wurde nichts geändert. Während der 18 Minuten dauernden Erholungszeit wurde die Ausatmungsluft, wie oben geschildert, in 4 verschiedenen Säcken aufgefangen. Diese Versuchsreihe bildete die Grundlage für die weiteren Versuche, denn sie war gleichsam die Eichung der Versuchsperson und stellte die Norm dar, mit der die Ergebnisse der beiden nächsten Versuchsreihen verglichen werden konnten. Wenn man auch bis zu einem gewissen Grade das unphysiologische der Mundatmung bei Gebrauch des Mundstückes und die leichte exspiratorische Atembehinderung durch den Widerstand im Ausatmungsventil und in dem Röhrensystem berücksichtigen muß, so kann man diese erste Versuchsreihe praktisch doch als einen reinen Arbeitsversuch mit unbehinderter Atmung ansprechen.

Die zweite Versuchsreihe (CO-Filterbüchse Dräger 101).

Die zweite Versuchsreihe unterscheidet sich in der Versuchsanordnung prinzipiell nicht von der ersten. Auch hier besteht der erste Abschnitt in der Bestimmung des Ruhestoffwechsels im Liegen. Vom zweiten Abschnitt an wird jetzt aber nicht mehr durch ein Mundstück geatmet, sondern die Versuchsperson trägt das CO-Schutzgerät. Dieses besteht aus der CO-Filterbüchse Dräger 101, die durch ein kurzes Schlauchstück mit der dazu passenden Maske verbunden ist. Die Einatmungsluft passiert die Filterbüchse, den Schlauch und die Maske, während die Ausatmungsluft durch ein Ventil aus der Maske direkt in das erwähnte Röhrensystem geleitet wird. Die Filterbüchse wurde durch einen Traggurt der Versuchsperson um den Hals gehängt. Es wurde also der Gasstoffwechsel untersucht, während die Versuchsperson 10 Minuten mit dem CO-Schutzgerät auf dem Tretrad saß. Darauf folgte die in der ersten Versuchsreihe geschilderte Arbeitsperiode und die Erholungsphase. Während der ganzen Zeit wurde das Schutzgerät nicht abgenommen.

Die dritte Versuchsreihe (CO-Filterbüchse Auer).

Diese gleicht in der Versuchsanordnung wieder völlig der zweiten Versuchsreihe. Nur wurde statt der CO-Filterbüchse Dräger 101 jetzt die CO-Filterbüchse der Auergesellschaft mit der dazu passenden Maske benutzt. Da diese Filterbüchse erheblich schwerer ist, als die der Drägerwerke, wurde sie von den Versuchspersonen nicht um den Hals getragen, sondern hing frei von der Decke herab. An der Atemführung wurde nichts geändert.

Da diese Versuche mit Gasmasken ausgeführt wurden, die einen praktisch völlig zu vernachlässigenden Totraum aufwiesen und da ferner der Einfluß des Gewichts durch das Aufhängen des schweren Auerfilters ausgeschaltet war, so ist man berechtigt, auftretende Veränderungen im Gasstoffwechsel allein auf die Wirkung der CO-Filter zurückzuführen. Die Untersuchung der Ausatmungsluft erstreckte sich auf folgende Bestimmungen:

1. Messung des Minutenvolumens der Atmung,
2. der absoluten Sauerstoffaufnahme,
3. der relativen Sauerstoffaufnahme oder der Sauerstoffnutzung,

4. des Sauerstoffverbrauchs vom Beginn der Arbeit bis zum Schluß der Erholungsperiode,
5. der Kohlensäureausscheidung.

Ich habe oben erörtert, welche Bedeutung gerade diesen Faktoren bei unserer Fragestellung zukommt und will jetzt unsere Versuche einer kritischen Würdigung unterziehen. Der Uebersicht halber will ich dabei das Verhalten der einzelnen Faktoren in Kurvenform darstellen [1]) und zwar werde ich hierbei die Durchschnittswerte aller Versuchspersonen verwenden. Da uns bei unseren Betrachtungen nicht so sehr die absoluten Werte, sondern vor allem das Verhalten während der Arbeit bei Gebrauch der beiden verschiedenen Maskenmodelle interessiert, so wurden die Ausgangswerte aller Versuche gleich 100 gesetzt und alle anderen Werte hierauf bezogen. Das hat den Vorteil, daß wir die Veränderungen des Gasstoffwechsels stets sofort in Prozenten des Ruhestoffwechsels im Liegen bei unbehinderter Atmung vor uns haben. Auf den Abbildungen entspricht die ausgezogene Linie dem Arbeitsversuch mit unbehinderter Atmung. Die gestrichelte Linie entspricht dem Drägerfilter 101 und die punktierte Linie dem Versuch mit dem Auerfilter. Da die erhaltenen Zahlen stets Durchschnittswerte für eine mehr oder weniger längere Zeit darstellen, wurden die Kurven nichts als Maximalkurven gezeichnet, sondern geben blockartig das Verhalten der Atemvorgänge der einzelnen Versuchsetappen an.

1. Das Verhalten des Minutenvolumens der Atmung (Abbildung 1.

Was uns bei der Betrachtung der drei Kurven zunächst auffällt, ist die außerordentliche Aehnlichkeit in ihrem Verlauf. Der Versuch mit unbehinderter Atmung zeigt uns dasselbe Verhalten des Atemvolumens, wie es auch frühere Untersucher gefunden haben. Ein steiles Ansteigen in den beiden ersten Arbeitsminuten, ein weiteres, dauerndes, wenn auch nicht ganz so steiles Ansteigen in der 3. bis 5. Arbeitsminute. Sofort nach Aufhören der Arbeit sehen wir einen raschen Abfall, der sich besonders in den ersten beiden Erholungsphasen ausspricht. So hat das Minutenvolumen

1) Das Bildmaterial ist in der Medizinischen Universitäts-Poliklinik in Königsberg Pr. einzusehen.

der Atmung, das am Ende der Arbeitsperiode das 9fache des Ruhewertes betrug, nach der 7. Erholungsminute einen Wert erreicht, der nur noch doppelt so hoch ist, wie der Ruhewert. Von nun fällt das Minutenvolumen langsam aber ständig immer weiter ab und am Ende des Versuches, also nach 18 Erholungsminuten erhalten wir einen Wert, der den Ausgangswert nur noch um 50 % übersteigt.

Vergleichen wir hiermit das Verhalten des Minutenvolumens bei Gebrauch der CO Schutzgeräte, so müssen wir sagen, daß das Ergebnis unserer Versuche ein überraschendes ist. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen sehen wir, daß das Minutenvolumen der Atmung nicht nur in der Ruhe, sondern auch ganz besonders während der Arbeit beträchtlich größer ist als bei unbehinderter Atmung. Besonders deutlich prägt sich dieses bei Gebrauch des CO-Filters Dräger 101 aus.

A. Das Atemvolumen bei Gebrauch des Drägerfilters.

Der erste Abschnitt der Kurve charakterisiert das Verhalten des Atemvolumens bei ruhigem Sitzen mit der Maske. Während beim Sitzen ohne Maske das Atemvolumen nur um 20 % über den Ruhewert im Liegen ansteigt, übersteigt es beim Tragen des Drägergerätes den Ausgangswert sofort um 120 %. In der ersten Arbeitsminute steigt dann das Atemvolumen in demselben Tempo an, wie bei unbehinderter Atmung. Schon in der zweiten Minute entfernen sich die Kurven deutlich voneinander. Hier steigt das Minutenvolumen der Drägermaske um 145 % steiler an, als im Leerversuch. Aber erst in der 3. Arbeitsminute wird der Unterschied eklatant. Während hier die Kurve des Leerversuches ganz deutlich in einen flacheren Verlauf übergeht, steigt die Kurve der Drägermaske fast unverändert weiter an. Zahlenmäßig prägt sich das so aus, daß in der 3. Arbeitsminute der Wert für die Drägermaske um 330 % über der Normalkurve liegt. Und dieser Unterschied wird noch deutlicher in der 4. und 5. Arbeitsminute. Die Normalkurve steigt immer langsamer an, die Drägerkurve dagegen zeigt gerade in der 5. Minute noch einmal einen leichten Knick nach oben und am Ende der Arbeitsminute übersteigt das Atemvolumen bei Gebrauch des Drägergerätes den Ausgangswert um das 14 fache und liegt um 510 % höher als im Leerversuch.

A. Die Sauerstoffaufnahme bei Gebrauch des Auerfilters.

Wie in Abbildung 1 sehen wir auch beim Verhalten der Sauerstoffaufnahme, daß die Kurve für die Auermaske sich eng an die Normalkurve anschließt. In den beiden ersten Abschnitten fallen die beiden Kurven fast zusammen. Wohl erreicht die Sauerstoffaufnahme in der 2. Minute beim Tragen der Auermaske einen um 60 % höheren Wert als ohne Maske. Von hier ab aber verläuft die Kurve für die Auermaske wesentlich flacher. In der 4. Minute überschneiden sich die Kurven und die Werte für die Auermaske bleiben hinter dem Leerversuch zurück. Dann macht sich aber im Verlauf der beiden Kurven ein Unterschied bemerkbar, auf dessen grundlegende Bedeutung Thiel in seiner zitierten Arbeit ganz besonders hingewiesen hat. In der 5. Arbeitsminute, wo die Normalkurve ihr Maximum bereits überschritten hat und deutlich absinkt, steigt nämlich das Sauerstoffaufnahmevermögen beim Tragen des Auergerätes weiter an. So kommt es, daß der Wert für die Auermaske am Ende der Arbeitsperiode nur 20 % unter dem Normalwert liegt gegenüber 45 % bei Beginn der letzten Arbeitsminute. Im Gegensatz zu Abbildung 1 ähneln sich die beiden Kurven in Abbildung 2 auch in der Erholungsperiode so stark, daß sie besonders in den beiden letzten Phasen fast völlig miteinander verschmelzen.

B. Die Sauerstoffaufnahme bei Gebrauch des Drägerfilters.

Ein ganz anderes Bild zeigt das Verhalten der Sauerstoffaufnahme bei Benutzung des Drägerfilters. Beim Betrachten der Abbildung ist man versucht von einer Idealkurve zu sprechen. In jeder Minute der Arbeitsperiode sehen wir ein konstantes steiles Ansteigen; besonders von der 3. Arbeitsminute ab wird der Unterschied zu den beiden anderen Kurven augenfällig und in der 5. Minute sehen wir noch wesentlich demonstrativer als bei der Auermaske, daß das Sauerstoffaufnahmevermögen noch lange nicht sein Maximum erreicht hat, sondern fortgesetzt weiter ansteigt. Daß die Versuchspersonen während der Arbeit genug Sauerstoff mit dem Drägerfilter aufnehmen konnten, zeigt sich auch in der Erholungszeit. Denn schon in der 1. Phase liegt die Drägerkurve 10 % unter der Normalkurve und verläuft dann nur wenig höher als diese bis zum Ende des Versuches.

3. Das Verhalten der Sauerstoffnutzung (Abbildung 3).

Auf der Abbildung 3 sind im Gegensatz zu Abb. 1 und 2 die absoluten Werte eingesetzt, da bei der Stilisierung der Kurve kleine Schwankungen, auf die es bei der Nutzung aber gerade ankommt, leicht verwischt werden. Die abgelesenen Werte geben also direkt die Mittel der Ausnutzungskoeffizienten an. Infolgedessen verlaufen die Kurven auch nicht so gleichmäßig wie Abb. 1 und 2 und erscheinen auf den ersten Blick etwas unübersichtlich. Bei genauerer Beobachtung erkennen wir aber doch, daß die Sauerstoffausnutzung in allen Punkten den Erwartungen entspricht, die wir uns nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen machen konnten. Wir sahen, daß im Leerversuch die Sauerstoffaufnahme in den beiden ersten Arbeitsminuten um 90 % stärker anstieg als das Minutenvolumen der Atmung. Dementsprechend wächst auch der Ausnutzungskoeffizient in der gleichen Zeit von 20,6 % auf 24,0 % an. In der 3. Minute fiel der scharfe Knick im Sauerstoffaufnahmevermögen auf. Denn der Anstieg des Minutenvolumens war in diesem Teil der Arbeitsperiode um 50,0 % größer als derjenige der Sauerstoffaufnahme. Dieses äußerte sich in einem steilen Abfall des Ausnutzungskoeffizienten auf 19,5 %. In der 4. Minute ändert sich das Verhältnis der beiden Kurven wieder. Hier steigt die Sauerstoffaufnahme um 35 % stärker an, als das Minutenvolumen. Wir sehen sinngemäß auch ein nochmaliges Anwachsen der Nutzung auf 20,4 %. Es folgt die kritische 5. Arbeitsminute, in der das Minutenvolumen noch um weitere 10 % ansteigt, die Sauerstoffaufnahme dagegen bereits ihr Maximum überschritten hat und um 15 % abfällt. Das kommt auch in der Nutzung zum Ausdruck, die von 20,4 % auf 19,8 % absinkt.

In der 1. Erholungsphase fällt die Sauerstoffaufnahme um 130 % mehr als das Minutenvolumen. Daher an dieser Stelle auch ein rapides Absinken der Nutzung auf 15,4 %. Von hier ab sinkt das Minutenvolumen durchweg schneller ab als die Sauerstoffaufnahme, die Nutzung wird also konstant wieder besser und steigt bis zum Ende des Versuches auf 17,1 %.

Wir wollen nun an Hand der Sauerstoffausnutzung sehen, ob die besprochenen Veränderungen im Minutenvolumen der Atmung und in der Sauerstoffaufnahme, die

beim Tragen der CO-Schutzgeräte auftraten, tatsächlich eine Verbesserung der Arbeitsfähigkeit darstellen. Und zwar wollen wir auch hierbei die Nutzung im Zusammenhang mit der Abb. 1 und 2 besprechen.

A. Die Sauerstoffnutzung beim Gebrauch des Auerfilters.

Aus den Abbildungen 1 und 2 geht deutlich hervor, daß das Auerfilter nur einen verhältnismäßig geringen Einfluß auf das Minutenvolumen der Atmung und auf die Sauerstoffaufnahme hat. Es ist daher zu erwarten, daß auch die Nutzung nicht grundlegend verändert ist. Und tatsächlich sehen wir auf Abb. 3 zumindestens in der Arbeitsperiode eine gewisse Aehnlichkeit mit der Normalkurve, wenn sie sich auch in einigen Punkten mehr dem später zu besprechenden Drägerfilter angleicht. Im ersten Abschnitt der Kurve (ruhiges Sitzen mit der Maske) steigt das Minutenvolumen um 45 % mehr an als die Sauerstoffaufnahme, dementsprechend fällt der Ausnutzungskoeffizient von 21,3 auf 18,9 %. In der ersten Arbeitsminute steigt die Sauerstoffaufnahme dagegen um 105 % mehr als das Minutenvolumen. Dieser außerordentliche Unterschied wird durch ein steiles Ansteigen der Nutzungskurve charakterisiert, die in der 1. Arbeitsminute mit 25,0 % ihrer höchsten Wert erreicht. Von jetzt ab verläuft die Kurve für das Minutenvolumen dauernd beträchtlich steiler als diejenige für die Sauerstoffaufnahme und zwar wird der Unterschied von Minute zu Minute immer deutlicher und so fällt auch die Nutzungskurve bis zum Ende der Arbeitsperiode ununterbrochen ab. Wir sehen also, daß der auffallende Anstieg der Sauerstoffaufnahme in der 5. Arbeitsminute nur eine scheinbare Verbesserung im Gasaustausch darstellt, denn einer Vergrößerung der Sauerstoffaufnahme um 10 % entspricht eine gleichzeitige Vermehrung des Minutenvolumens um 90 %. Interessant sind beim Vergleichen der beiden Kurven die absoluten Werte. In der 1. Arbeitsminute ist die Nutzung bei dem Auerfilter um 2,8 % besser als im Leerversuch, nach der 2. Minute ist sie um 0,2 % schlechter und dieser Unterschied von 0,2 % besteht auch am Ende der Arbeitsperiode. In den dazwischenliegenden Minuten dagegen liegt die Auerkurve um 2,1 bezw. 1,5 % über der Normalkurve. Das tiefe Absinken der Nutzung in der 3. Arbeitsminute wird also beim Tragen des Auer-

gerätes vermieden. Demnach ist die Nutzung während der Arbeitsperiode doch deutlich besser als bei unbehinderter Atmung.

Anders dagegen in der Erholungszeit. In der 1. Phase verlaufen die Kurven noch fast in gleicher Höhe, dann aber zeigt sich ein grundlegender Unterschied. Da das Minutenvolumen ganz erheblich langsamer zur Norm zurückkehrt als die Sauerstoffaufnahme, sinkt die Nutzung in der 7. Minute der Erholungszeit auf den außerordentlich niedrigen Wert von 12,5 % und steigt dann bis zum Ende des Versuches auf 15,1 % an.

B. Die Sauerstoffnutzung bei Gebrauch des Drägerfilters.

Auf Abb. 1 und 2 haben wir gesehen, daß die Kurve für das Drägerfilter mit einer auffallenden Gleichmäßigkeit über den beiden anderen Kurven verlief. Besonders war uns der Unterschied bei Besprechung der Sauerstoffaufnahme aufgefallen und zwar in der 3. bis 5. Arbeitsminute. Denn während hier die Auerkurve fast horizontal verläuft und die Normalkurve ihren erwähnten Abfall zeigt, steigt die Drägerkurve in der gleichen Zeit um den außerordentlichen Betrag von 360 % an. Dieser Unterschied im Verhalten des Minutenvolumens und der Sauerstoffaufnahme kommt auch in sehr instruktiver Weise in der Nutzungskurve zum Ausdruck. Schon in der 1. Arbeitsminute erreicht die Drägerkurve den außergewöhnlich hohen Wert von 25,5 %, um in der 2. Minute noch weiter auf 25,6 % anzusteigen. In der 3. Minute zeigt sie ebenso wie die beiden anderen Kurven einen deutlichen Abfall, bleibt aber mit 23,1 % ganz erheblich über der Auerkurve mit 21,6 % und ganz besonders über der Normalkurve mit 19,5 %. In der 4. Minute steigt sie dann wieder auf 23,5 % an. In der 5. Arbeitsminute zeigt uns die Nutzungskurve mit aller Eindringlichkeit, daß das Drägerfilter den Gasstoffwechsel bei körperlicher Arbeit ganz grundlegend günstig beeinflußt. Denn darin sind sich alle Untersucher auf diesem Gebiet einig, daß die Leistungsfähigkeit des Individuums letzten Endes von der Fähigkeit abhängt, Sauerstoff aus der angebotenen Atemluft aufzunehmen und zu verbrennen. Im Leerversuch beginnt die Arbeitsperiode mit einer Nutzung von 20,6 % und endet mit einer Nutzung von 19,8 %. Das bedeutet ein Absinken um 0,8 %. Die entsprechenden Werte für das Auerfilter sind 18,9 % und 19,6 %. Der Endwert liegt hier also noch um 0,7 % über dem Ausgangswert.

Anders verhält sich dagegen die Sauerstoffausnutzung bei Gebrauch des Drägerfilters. Der Anstieg der Nutzung in der 4. Arbeitsminute hält auch in der 5. Minute weiter an und am Ende der Arbeitsperiode haben wir mit 23,8 % eine Nutzung, die nur um 0,4 % schlechter ist als die höchste Nutzung, die im Leerversuch überhaupt erreicht wird, und die um volle 3 % über dem Ausgangswert liegt.

Wie schon Abb. 1 und 2 so zeigt auch die Kurve für die Nutzung, daß die Verbesserung der Atmungsverhältnisse nur auf die Arbeitsperiode gilt. In der Erholungszeit dagegen ist die unbehinderte Atmung der Atmung im CO-Schutzgerät überlegen. In der 1. Erholungsphase sind die drei Kurven nur um ganz geringe Werte voneinander getrennt. Von hier ab aber folgt die Drägerkurve der Auerkurve, auch sie erreicht in der 2. Erholungsphase mit 13,2 % einen rechten tiefen Wert. Dann steigt sie wieder an und am Ende des Versuches fallen mit 15,1 % die beiden Kurven für die Schutzgeräte zusammen.

4. Der Gesamtsauerstoffverbrauch.

Ohne Maske: 18,517 Liter.

Mit Auerfilter: 18,018 Liter.

Mit Drägerfilter: 17,487 Liter.

Wir haben oben erwähnt, daß die Größe einer Anstrengung durch die Menge Sauerstoff charakterisiert ist, die der Organismus zu ihrer Bewältigung verbrennen muß. Frühere Untersuchungen hatten übereinstimmend ergeben, daß der Gesamtverbrauch an Sauerstoff bei körperlicher Arbeit am Gasschutzgerät größer ist als bei der gleichen Arbeit und unbehinderter Atmung. Bekanntlich ist der Mehrverbrauch an Sauerstoff bei körperlicher Arbeit darauf zurückzuführen, daß während der Arbeit große Mengen saurer Stoffwechselprodukte entstehen, zu deren Beseitigung Sauerstoff nötig ist. Wenn nun bei einer Arbeit in der Maske der Sauerstoffverbrauch größer ist als bei der gleichen Arbeit ohne Maske, so kann man sich das nur so erklären, daß der Abtransport saurer Stoffwechselprodukte durch die Atemluft ungenügend wird, mit anderen Worten, daß die Kohlensäureausscheidung durch den Gebrauch der Gasschutzgeräte herabgesetzt wird. Bei unseren Versuchen kommen wir aber zu dem überraschenden Resultat, daß der Gesamtsauerstoffverbrauch beim Tragen der Maske ge-

ringer ist, als bei freier Atmung und zwar sehen wir auch hier, daß der Einfluß des Drägerfilters wesentlich größer ist als der des Auerfilters. Man muß also nach dem eben Gesagten annehmen, daß die Kohlensäureausscheidung durch unsere beiden CO-Schutzgeräte verbessert wird. Inwieweit dieses tatsächlich der Fall ist, wollen wir bei Besprechung des letzten Punktes unserer Versuchsanordnung sehen.

5. Die Kohlensäureausscheidung (Abbildung 4).

Es wurde schon gesagt, daß bei körperlicher Arbeit im Organismus große Mengen saurer Stoffwechselprodukte entstehen, die für das Anwachsen der Sauerstoffaufnahme und somit des Atemvolumens verantwortlich zu machen sind. Es leuchtet ein, daß bei der Frage nach der Leistungsfähigkeit die Kohlensäureausscheidung eine außerordentlich wichtige Rolle spielt, denn letzten Endes handelt es sich bei dem ganzen Problem darum, das Auftreten einer Uebersäuerung im Organismus möglichst lange hinauszuzögern. Die Normalkurve zeigt ein steiles Ansteigen in den beiden ersten Arbeitsminuten. Dann wird die Kurve mit jeder Minute flacher, steigt aber bis zum Ende der Arbeitsperiode dauernd an. In der Erholungsperiode zeigt sich ein steiler Abfall in der 1. Phase, der auch in der 2. Phase noch sehr deutlich ist. Von da ab sehen wir ein allmähliches Absinken zur Norm.

A. Die Kohlensäureausscheidung bei Gebrauch des Auerfilters.

Auch hier halten sich die durch das Auerfilter hervorgerufenen Veränderungen in mäßigen Grenzen. In den beiden ersten Arbeitsminuten verschmilzt die Kurve fast völlig mit der Normalkurve. In der 3. Minute steigt sie dann aber weiter steil an und erhebt sich um 125 % über die Normalkurve. Dann geht sie mit einem scharfen Knick in einen fast horizontalen Verlauf über, die Kurven nähern sich wieder einander, und der Abstand beträgt in der 4. Minute 100 %, in der 5. Minute nur noch 45 %. In der 1. Erholungsphase fällt die Kurve steiler ab als die Normalkurve, verläuft dann zwar wesentlich flacher, liegt aber am Ende des Versuches nur um 5 % über jener.

B. Die Kohlensäureausscheidung bei Gebrauch des Drägerfilters.

Schon in der 1. Arbeitsmin. steigt die Kurve um 100 % mehr an als die Normalkurve, um in der 2. Min. in einem fast senkrechten Anstieg sich 300 % über sie zu erheben. Noch deutlicher wird der Unterschied gegen Ende der Arbeitsperiode. In der 3. und 4. Minute beträgt der Abstand 340 %. In der 5. Minute sehen wir auch hier ein nochmaliges Steilerwerden, der Abstand vergrößert sich auf 430 %. In der ersten Erholungsphase fällt die Drägerkurve mit der Normalkurve zusammen. Obwohl sie dann etwas flacher als jene verläuft, ist sie am Ende der Erholungszeit nur um 25 % von ihr entfernt und hat genau ihren Anfangswert erreicht.

Zusammenfassung.

In drei Versuchsreihen wurde der Einfluß der CO-Filterbüchse der Auergesellschaft und der CO-Filterbüchse 101 der Drägerwerke auf den Gasstoffwechsel des Trägers untersucht und zwar in der Ruhe, bei einer Arbeitsleistung von 0,225 PS über 5 Minuten und während einer anschließenden Erholungszeit von 18 Minuten. Die Stoffwechseluntersuchungen bestanden in der Bestimmung von Minutenvolumen der Atmung, absoluter und relativer Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung. Die Untersuchungen zeigen, daß die Beeinträchtigungen des Gasstoffwechsels, die bei älteren Maskenmodellen während der Arbeit zu beobachten waren, bei den modernen CO-Schutzgeräten nicht mehr auftreten. Das Minutenvolumen der Atmung war gegenüber der Norm beträchtlich gesteigert, ebenso die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureausscheidung.

Damit ist bewiesen, daß bei einer erheblichen Körperanstrengung von 5 Minuten Dauer die Leistungsfähigkeit des Trägers dieser CO-Schutzgeräte in keiner Weise herabgesetzt wird.

Dem Direktor der Medizinischen Universitäts-Poliklinik in Königsberg Pr., Herrn Prof. Dr. Bruns bin ich für die Ueberlassung des Themas zu großem Dank verpflichtet. Ebenso danke ich Herrn Oberarzt Dr. K. Thiel für seine wertvollen Anregungen bei der Durchführung der Versuche. Ferner den Assistenzärzten und Medizinalpraktikanten der Poliklinik, die sich in selbstloser Weise den anstrengenden und zeitraubenden Versuchen zur Verfügung stellten. Die Arbeit wurde durchgeführt mit Hilfe der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft, der an dieser Stelle gleichfalls mein aufrichtigster Dank ausgesprochen sei.

Literatur.

Atzler, Herbst und Lehmann: Ztschr. f. Biochemie. 143, 10. 1923.
Bruns, O.: Ztschr. f. Fortschr. Wissenschaft und Technik. **40**. 1933.
Bruns, O.: Dtsch. Arch. f. klin. Med. **107**. 468. 1912.
Bruns, O. und Hörnicke, E.: Med. Klinik 1926. Nr. 9.
Bruns, O. und Hörnicke, E.: Ztschr. exp. Med. **56**. 98. 1927.
Eppinger, Kisch und Schwarz: Klin. Woch. **4**. 1101. 1925.
Eppinger, Kisch und Schwarz: Das Versagen des Kreislaufs. Berlin 1927.
Gessler und Markert: Ztschr. f. Biol. **86**. 173. 1927.
Hanslian-Bergendorf: Der chemische Krieg. Berlin 1927.
Herbst, R.: Arch. klin. Med. **162**. 33. 129. 257. 1928.
Krogh, A. und Lindhard: Journ. of Physiol. **47**. 112. 1913.
Löwy, A.: Oppenheimers Handb. d. Biochemie **6**. 88. 1926.
Morawitz und Siebeck: Dtsch. Arch. klin. Med. **97**. 1909.
Rohrer: Schweiz. med. Woch. **41**. 1921.
Rohrer: Handb. d. norm. u. path. Physiol. Atmung. 4. Bd. 2. 121.
Simonson, E.: Pflügers Arch. **214**. 380. 1926.
Thiel, K.: Vortrag auf der Tagg. der Internat. Lebensrettungsgesellschaft in Kopenhagen 1934.
Thiel, K. und Quednau: Ztschr. exp. Med. **65**. 604. 1929.

Lebenslauf

Am 16. September 1909 wurde ich in Pillau Ostpr. als Sohn des Reichsbahnobersekretärs Franz Bordasch geboren. Von Ostern 1916 ab besuchte ich das Hufenrealgymnasium in Königsberg Pr., wo ich am 2. März 1928 die Reifeprüfung bestand. Ich studierte auf den Universitäten Königsberg und Wien Medizin. Nachdem ich am 18. Januar 1934 in Königsberg Pr. mein medizinisches Staatsexamen bestanden hatte, war ich zunächst zwei Monate auf der geburtshilflich-gynäkologischen Abteilung des Städt. Krankenhauses tätig. Vom 1. April ab arbeitete ich als Medizinalpraktikant an der Medizinischen Universitäts-Poliklink in Königsberg.

Ich bin evangelischer Konfession und arischer Abstammung.